

美国规范关于现浇钢筋混凝土双向板楼盖结构的直接设计法

蔡俊杰 郝源

(厦门大学建筑与土木工程学院 361005)

摘要: 本文介绍了美国规范在设计双向板时采用的直接设计法, 包括直接设计法的使用条件、总静力弯矩及其分配方式。并结合实例进行了计算, 得出了一些结论。

关键词: 现浇钢筋混凝土 双向板 直接设计法

中图分类号: TU318

文献标识码: A

文章编号: 1004-6135(2009)01-0047-03

Direct Design Method Applied to Cast-in-situ Reinforced Concrete Two-way Slab Structure in American Code

Cai Jun jie, Hao Yuan

(Department of Civil Engineering, Xiamen University 361005)

Abstract: This essay introduce the direct design method used in ACI-318, included the qualifications of direct design method, total moment and how it is distributed. And give an example of the direct design method

Keywords: cast-in-situ reinforced concrete two-way slab direct design method

板的内力在很大程度上取决于周边支座约束的影响, 我国规范对于楼盖的设计遵循着板把荷载传递给梁, 梁把荷载传递给柱的设计理念, 梁、板、柱都作为独立的传力构件单独进行设计计算, 而忽略了板和梁、梁和柱的协同工作情况。而国外规范已基本淘汰了这种“边支承板”的观念, 更多考虑了板与支承构件的协调变形, 按“柱支承板”进行设计^[1]。本文介绍了美国规范在设计双向板时采用的直接设计法, 结合实例进行了计算, 并与我国规范作了比较, 提出了一些建议。

1 直接设计法的使用条件

在混凝土结构设计中, 当长边与短边长度之比小于或等于 2 时, 按双向板计算; 当长边与短边长度之比大于 2, 但小于 3 时, 宜按双向板计算。双向板楼盖在实际工程中的应用十分广泛。当双向板满足下列条件时, 可用半经验的直接设计法得出弯矩^[2]。

- (1) 每个方向至少有连续 3 跨。
- (2) 区格为矩形, 各区格的长、短跨度比不大于 2。
- (3) 两个方向的相邻两跨的跨度差均不大于长跨的 1/3。
- (4) 柱子离相邻柱中心线的最大偏差在两个方向均为偏心方向跨度的 10%。
- (5) 荷载仅为重力荷载, 且活载不超过 2 倍恒载。
- (6) 若柱轴线上有梁, 则在两个垂直方向梁的相对刚度比

$\alpha_1 l_2 / \alpha_2 l_1$ 应在 0.2~5.0 之间 (l_1 为进行弯矩分析方向的跨度, 一般取为柱中心距; l_2 为横向跨度; 两方向梁板相对刚度系数 α_1 和 α_2 在下文详细说明)。

2 设计荷载下的总静力弯矩

在计算区格的总弯矩 M_0 时, 采用净跨 l_n 。净跨 l_n 为柱侧面到侧面的距离, 柱帽、支托或墙的侧面之间的距离, 但不得小于 0.65 l_1 。在支座中心线两侧, 以区格板中心线为界的板带, 一跨的总设计弯矩为

$$M_0 = \frac{q l_2 l_n^2}{8}$$

3 临界截面的弯矩分配

内跨的总弯矩可按下列比例在正、负临界弯矩截面之间进行分配:

负设计弯矩 $M_U = 0.65 M_0$

正设计弯矩 $M_U = 0.35 M_0$

如图所示。负弯矩的临界截面取在矩形支座的侧表面, 对于圆形支座, 取为与圆形支座等面积的方形支座的侧表面。

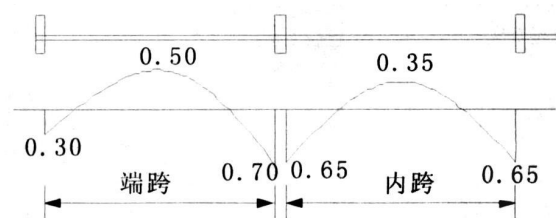


图 1 总静力弯矩 M_0 在正、负弯曲临界截面的分配

端跨的总弯矩在三个临界弯矩截面(内负、正和外负, 见图 1)的分配取决于外柱或外墙对板的弯曲约束作用和柱轴线上



作者简介: 蔡俊杰, 1984 年生, 男, 结构工程专业, 硕士。

收稿日期: 2008-10-13

是否有梁。ACI318-05 规范^[2]第 13.6.3 条规定了 5 种情况下端跨的弯矩分配系数,列于表 1。

表 1 静力弯矩 M_0 在端跨的正、负弯矩分配系数

	(a)	(b)	(c)		(e)
	外边无约束	支座间有梁	内支座间无梁		外边全约束
			无边梁	有边梁	
内负弯矩	0.75	0.70	0.70	0.70	0.65
正弯矩	0.63	0.57	0.52	0.50	0.35
外负弯矩	0	0.16	0.26	0.30	0.65

(a) 为外边缘无约束弯矩,墙即属于这种情况,它仅提供竖向支承但无转动约束。(b) 为在区格的各边都有梁的双向板。(c) 为无柱帽平板,完全无梁。(d) 为外侧边缘有梁的无柱帽平板。(e) 为全约束边缘,与刚度很大的钢筋混凝土墙整浇的板即属此情况。相应于每种情况的系数列于表 1,这些系数基于三维弹性分析,并参照试验和实际经验进行了一定修正。

内支座的负弯矩可能和普通支座跨的弯矩不同,设计板时应能抵抗这两个弯矩中的大者,除非根据相对刚度原理作了不平衡弯矩分配的特殊分析。板有边梁时的边梁或无边梁时的板边在设计时应能抵抗因表 1 中所列外负弯矩所分担的扭矩。

4 弯矩的横向分配

将弯矩 M_0 按上述方法分配给正、负弯矩截面后,还需将设计弯矩沿临界截面的宽度方向进行分配。设计时认为弯矩在中间板带和柱上板带各自范围内均匀分布是较方便的,但当柱轴线上有梁时,因梁的刚度较大,梁比相邻的板承受更大的柱上板带弯矩。总的负弯矩和正弯矩在中间板带、柱上板带以及梁之间的分配取决于比值 l_2/l_1 、梁有板的相对刚度以及边梁对板扭转的约束作用。

用以定义各方向梁和板相对刚度的参数为:

$$\alpha = \frac{E_{cb} I_b}{E_{cs} I_s}$$

式中 E_{cb} 、 E_{cs} 分别为梁和板的混凝土的弹性模量,它们通常是相等的; I_b 和 I_s 分别为有效梁和板的惯性矩。带下标的参数 α_1 、 α_2 分别表示 l_1 、 l_2 方向的 α 计算值。

梁和板的抗弯刚度可用混凝土的毛截面计算,忽略钢筋和可能的裂缝,忽略柱帽和柱顶板对抗弯刚度的影响。如果有梁, I_b 按图 2 定义的有效截面计算。对于板, $I_s = bh^3/12$, 此处 b 为梁两侧区格中心线间的宽度。

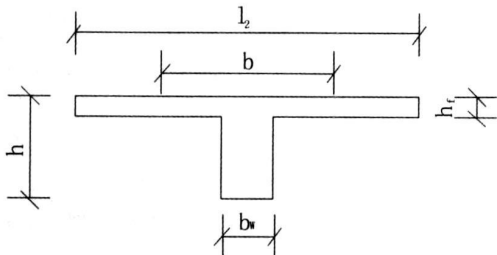


图 2 板和有效梁的截面

有效横向边梁抗扭所提供的相对约束以参数 β_1 表示, β_1 定义为:

$$\beta_1 = \frac{E_{cb} C}{2E_{cs} I_s}$$

式中常数 C 与有效横向梁的抗扭刚度有关,计算常数 C

时,可将截面分成几个矩形,然后按下式将各部分相加:

$$C = \sum \left[1 - 0.63 \frac{x}{y} \right] \frac{x^3 y}{3}$$

式中 x 为矩形的短边尺寸; y 为矩形的长边尺寸。

确定了这些参数以后,可将负弯矩和正弯矩在柱上板带和中间板带之间进行分配,表 2 为分配给柱上板带的正、负弯矩的百分率。在这些值之间的数值可用线性插入法求得。

表 2 柱上板带临界截面分配到总弯矩的百分率

		l_2/l_1		
		0.5	1.0	2.0
内负弯矩	$\alpha_1 l_2/l_1 = 0$	75	75	75
	$\alpha_1 l_2/l_1 \geq 1.0$	90	75	45
外负弯矩	$\alpha_1 l_2/l_1 = 0$	$\beta_1 = 0$	100	100
		$\beta_1 \geq 2.5$	75	75
	$\alpha_1 l_2/l_1 \geq 1.0$	$\beta_1 = 0$	100	100
		$\beta_1 \geq 2.5$	90	45
正弯矩	$\alpha_1 l_2/l_1 = 0$	60	60	60
	$\alpha_1 l_2/l_1 \geq 1.0$	90	75	45

当 $\alpha_1 l_2/l_1 \geq 1$ 时, l_1 方向柱轴线梁的分配弯矩为柱上板带弯矩的 85%。当 $\alpha_1 l_2/l_1$ 在 0~1 之间时,用线性插入法算出分配给梁的弯矩。

5 计算实例

一楼盖结构如图 3 所示,柱中心间距 6000×8000 mm,板厚 120 mm,恒载 $g_k = 8 \text{ kN/m}^2$,活载 $p_k = 2 \text{ kN/m}^2$,边梁 300×500 mm,内梁 300×600 mm。混凝土强度等级为 C30。柱截面尺寸角柱 $400 \text{ mm} \times 400 \text{ mm}$ 、边柱 $400 \text{ mm} \times 600 \text{ mm}$ 、内柱 $600 \text{ mm} \times 600 \text{ mm}$ ^[3]。

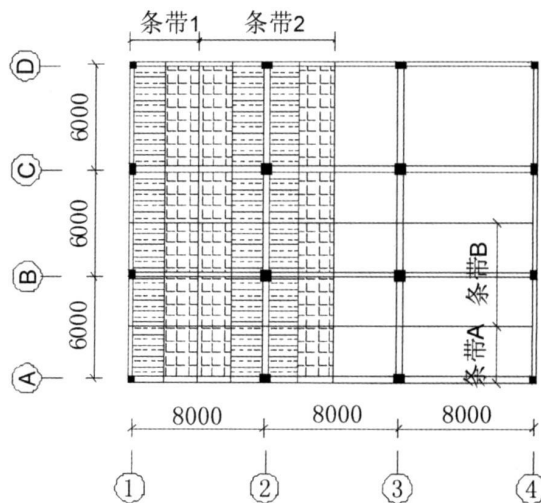


图 3 楼盖平面图

5.1 总静力设计弯矩

总荷载设计值 $q = 1.2g_k + 1.4p_k = 1.2 \times 8 + 1.4 \times 2 = 12.4 \text{ (kN/m}^2\text{)}$;

条带 1: $M_0 = \frac{q l_2 l_n^2}{8} = \frac{1}{8} \times 12.4 \times 4 \times (6 - 0.3)^2 = 201.438 \text{ (kN} \cdot \text{m)}$;

条带 2: $M_0 = \frac{1}{8} \times 12.4 \times 8 \times (6 - 0.3)^2 = 402.876 \text{ (kN} \cdot \text{m)}$;

条带 A: $M_0 = \frac{1}{8} \times 12.4 \times 3 \times (8 - 0.3)^2 = 275.699 \text{ (kN} \cdot \text{m)}$;

条带 B: $M_0 = \frac{1}{8} \times 12 \times 4 \times 6 \times (8 - 0.3)^2 = 551.379 (\text{kN} \cdot \text{m})$;

5.2 条带截面的正负设计弯矩

按照内跨及端跨的规定,各截面正负设计弯矩计算结果如表 3 所示。

表 3 条带的截面设计弯矩

条带	M_0	截 面				
		端跨外支座 - 0.30 M_0	端跨跨中 0.50 M_0	端跨内支座 - 0.70 M_0	内跨跨中 0.35 M_0	内跨内支座 - 0.65 M_0
1	201.4	- 60.44	100.7	- 141.0	70.51	- 130.9
2	402.8	- 120.8	201.4	- 282.0	141.0	- 261.8
A	275.6	- 82.70	137.8	- 192.9	96.49	- 179.1
B	551.3	- 165.41	275.69	- 385.96	192.98	- 358.39

5.3 板带设计弯矩的计算

条带的截面正负设计弯矩乘以板带弯矩百分比即得板带弯矩,而板带弯矩的百分比根据柱上板带承受计算板带内弯矩设计值的分配系数用线性插值算得,板带弯矩见表 4~ 7^[4]。

$$\text{边梁惯性矩: } I_{b1} = \frac{1}{12} \times 300 \times 500^3 \times 1.5$$
$$= 4.6875 \times 10^9 (\text{mm}^4);$$

$$\text{内梁惯性矩: } I_{b2} = 8.1000 \times 10^9 (\text{mm}^4);$$

$$\text{条带 1 板惯性矩: } I_{s1} = 5.76 \times 10^8 (\text{mm}^4);$$

$$\text{条带 2 板惯性矩: } I_{s2} = 11.52 \times 10^8 (\text{mm}^4);$$

$$\text{条带 A 板惯性矩: } I_{s3} = 4.32 \times 10^8 (\text{mm}^4);$$

$$\text{条带 B 板惯性矩: } I_{s4} = 8.64 \times 10^8 (\text{mm}^4);$$

$$\text{常数 } C = (1 - 0.63 \frac{120}{380}) \frac{120^3 \times 380}{3} + (1 - 0.63 \frac{300}{500}) \frac{300^3 \times 500}{3} = 2.974 \times 10^9 (\text{mm}^4);$$

$$\text{条带 1: } \alpha_1 = I_b / I_s = 8.138; \alpha_{l2} / l_1 = 10.850; \beta_1 = 2.582$$

$$\text{条带 2: } \alpha_2 = I_b / I_s = 7.031; \alpha_{l2} / l_1 = 9.372; \beta_2 = 1.291$$

$$\text{条带 A: } \alpha_A = I_b / I_s = 10.85; \alpha_{l2} / l_1 = 8.138; \beta_A = 3.442$$

$$\text{条带 B: } \alpha_B = I_b / I_s = 9.375; \alpha_{l2} / l_1 = 7.031; \beta_B = 1.721$$

表 4 条带 1 的板带弯矩

总宽 4m, 柱上板带宽 2m, 中间板带宽 2m						
板带弯矩		端跨		内跨		
		外支座	跨中	内支座	跨中	内支座
总截面	百分比/%	100	100	100	100	100
弯矩/($\text{kN} \cdot \text{m}$)		- 60.445	100.742	- 141.038	70.519	- 130.964
柱上板	百分比/%	55.25	55.25	55.25	55.25	55.25
带梁	弯矩/($\text{kN} \cdot \text{m}$)	- 33.396	55.660	- 77.923	38.962	- 72.358
柱上板	百分比/%	9.75	9.75	9.75	9.75	9.75
带板	弯矩/($\text{kN} \cdot \text{m}$)	- 5.893	9.822	- 13.751	6.877	- 12.769
中间板	百分比/%	35	35	35	35	35
带板	弯矩/($\text{kN} \cdot \text{m}$)	- 21.156	35.260	- 49.363	24.682	- 45.837

表 5 条带 2 的板带弯矩

总宽 8m, 柱上板带宽 4m, 中间板带宽 4m						
板带弯矩		端跨		内跨		
		外支座	跨中	内支座	跨中	内支座
总截面	百分比/%	100	100	100	100	100
弯矩/($\text{kN} \cdot \text{m}$)		- 120.8	201.43	- 282.013	141.00	- 261.869
柱上板	百分比/%	70.125	55.25	55.25	55.25	55.25
带梁	弯矩/($\text{kN} \cdot \text{m}$)	- 84.75	111.29	- 155.812	77.906	- 144.683
柱上板	百分比/%	12.375	9.75	9.75	9.75	9.75
带板	弯矩/($\text{kN} \cdot \text{m}$)	- 14.95	19.640	- 27.496	13.748	- 25.532
中间板	百分比/%	17.5	35	35	35	35
带板	弯矩/($\text{kN} \cdot \text{m}$)	- 21.15	70.503	- 98.705	49.352	- 91.654

表 6 条带 A 的板带弯矩

总宽 3m, 柱上板带宽 1.5m, 中间板带宽 1.5m						
板带弯矩		端跨		内跨		
		外支座	跨中	内支座	跨中	内支座
总截面	百分比/%	100	100	100	100	100
弯矩/($\text{kN} \cdot \text{m}$)		- 82.707	137.845	- 192.983	96.491	- 179.198
柱上板	百分比/%	74.375	74.375	74.375	74.375	74.375
带梁	弯矩/($\text{kN} \cdot \text{m}$)	- 61.513	102.522	- 143.531	71.765	- 133.278
柱上板	百分比/%	13.125	13.125	13.125	13.125	13.125
带板	弯矩/($\text{kN} \cdot \text{m}$)	- 10.855	18.092	- 25.329	12.644	- 23.520
中间板	百分比/%	12.5	12.5	12.5	12.5	12.5
带板	弯矩/($\text{kN} \cdot \text{m}$)	- 10.338	17.231	- 24.123	12.061	- 22.400

表 7 条带 B 的板带弯矩

总宽 6m, 柱上板带宽 3m, 中间板带宽 3m						
板带弯矩		端跨		内跨		
		外支座	跨中	内支座	跨中	内支座
总截面	百分比/%	100	100	100	100	100
弯矩/($\text{kN} \cdot \text{m}$)		- 165.4	275.69	- 385.965	192.98	- 358.396
柱上板	百分比/%	74.587	74.375	74.375	74.375	74.375
带梁	弯矩/($\text{kN} \cdot \text{m}$)	- 123.3	205.04	- 287.061	143.53	- 266.537
柱上板	百分比/%	13.162	13.125	13.125	13.125	13.125
带板	弯矩/($\text{kN} \cdot \text{m}$)	- 21.77	36.184	- 50.658	25.329	- 47.036
中间板	百分比/%	12.25	12.5	12.5	12.5	12.5
带板	弯矩/($\text{kN} \cdot \text{m}$)	- 20.26	34.461	- 48.246	24.123	- 44.796

6 总结

(1)直接设计法是在弹性薄板理论的分析基础上,在两个方向将柱支撑板现浇楼盖计算区格板的静力弯矩在控制截面按弯矩系数直接分配进行内力分析的一种简化方法。方法简单明了,物理概念清楚,有极限平衡寓意,它以符合一定条件的板系理论分析为依据。

(2)直接设计法在横向把弯矩分配给柱上板带板,柱上板带梁,及中间板带板三部分,板的计算弯矩沿横向不是均匀分配。我国常用的设计方法在计算板的弯矩时考虑为弯矩沿横向均匀分配。

(3)直接设计法在设计过程中综合考虑了梁板的抗弯刚度,引入了系数 α_{l2}/l_1 ,柱上板带分配到的弯矩由梁板的抗弯刚度比及 l_2/l_1 共同确定。我国常用的设计方法不考虑梁板的抗弯刚度比,仅考虑了 l_2/l_1 的影响。

(4)直接设计法考虑了边梁抗扭刚度对边区格板外支座负弯矩分配的影响,引入了抗扭刚度系数 β_t ,边梁的抗扭刚度越大,端跨外支座截面中间板带分担的负弯矩越大。而我国常用的设计方法不考虑边梁的抗扭刚度,而把板边简化成铰支座进行设计,板边的设计弯矩值取为零,按构造进行配筋。

参考文献

[1] 徐有邻,王晓锋,刘刚,朱爱萍.混凝土结构理论发展及规范修订的建议, [J] 建筑结构学报, 2007 年 2 月, 28 卷 1 期: 1~ 6

[2] ACI Committee 318, Building code requirements for structural concrete and commentary, (ACI 318M- 05), [S].

[3] GB 50010- 2002, 混凝土结构设计规范, [S].

[4] 袁俊杰, 拟梁法和直接设计法在现浇混凝土空心楼盖结构分析中的应用, [J] 铁道科学与工程学报, 2008 年 6 月, 5 卷 3 期: 78~ 82